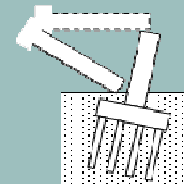


4.コンクリート構造物の 耐震設計基礎

4.1 耐震設計の考え方

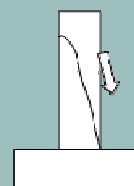
近年の地震被害とパターン

a) 基礎地盤の液状化

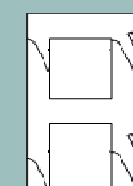


b) 柱のせん断破壊

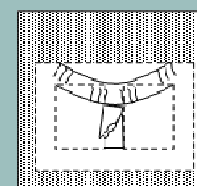
b)-1 橋脚のせん断破壊



b)-2 高架橋柱のせん断破壊



b)-3 地下鉄中柱のせん断破壊

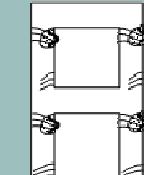


c) 柱の曲げ破壊

c)-1 橋脚の曲げ破壊

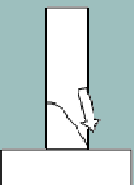


c)-2 高架橋柱の曲げ破壊



d) 主鉄筋脱落し部の破壊

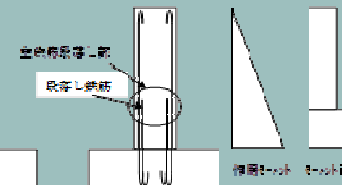
d)-1 せん断破壊



d)-2 曲げ破壊



d)-3 主鉄筋脱落し部の配筋



液状化による落橋



柱のせん断破壊



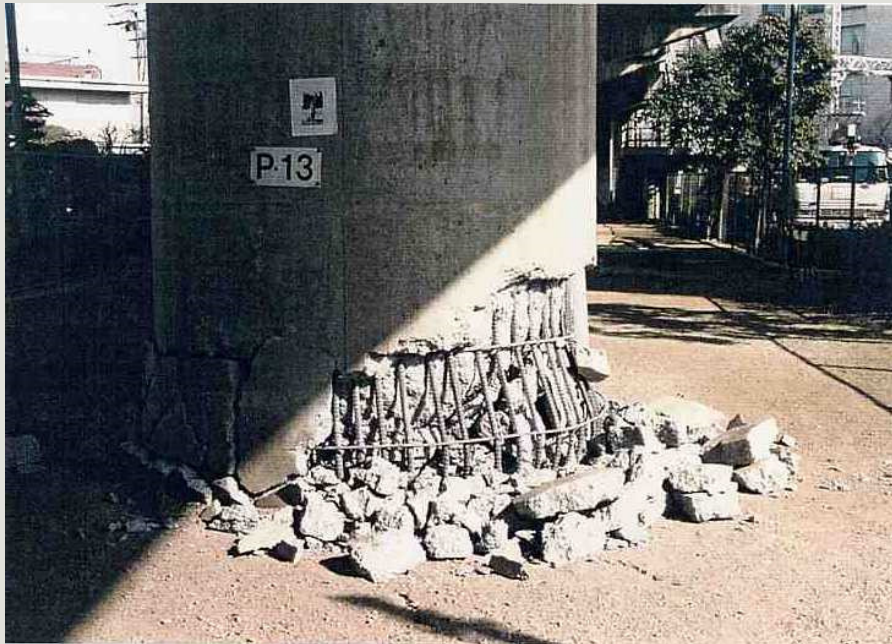
鉄道高架橋の倒壊



地下鉄中柱のせん断破壊



柱の曲げ破壊



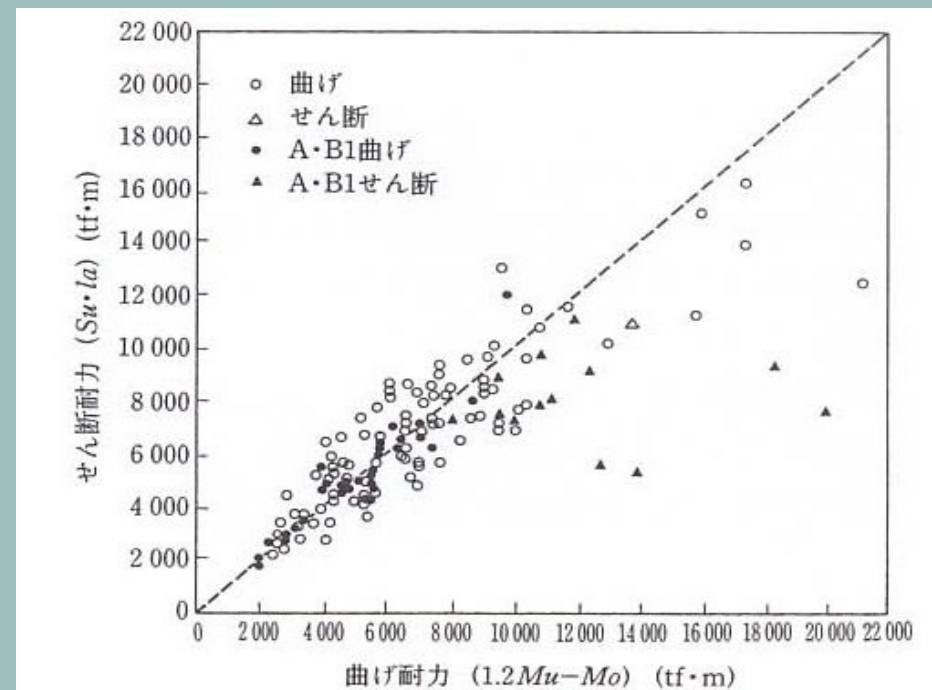
主鉄筋段落し部のせん断破壊



主鉄筋段落し部の曲げ破壊



道路橋脚のせん断/曲げ耐力比と損傷



コンクリート構造物の被害原因

1) 耐震基準で想定した地震強度をはるかに超えた地震動であった。

2) 変形能力で地震力に抵抗させる設計法が十分でなかった。

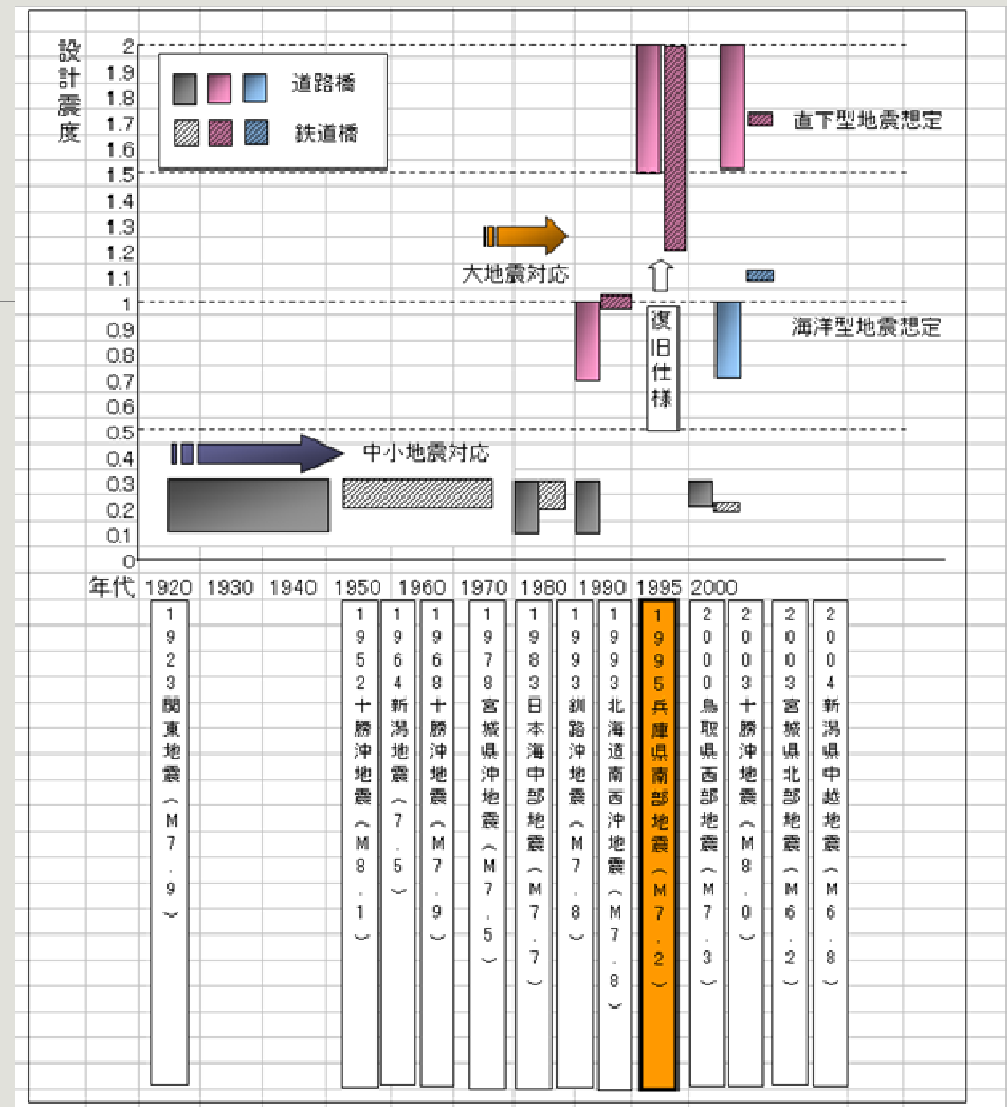
弾性計算に基づく許容応力度設計では、破壊モードや変形性能に関する照査は行われていなかった。

3) せん断に対する設計が不十分であった。

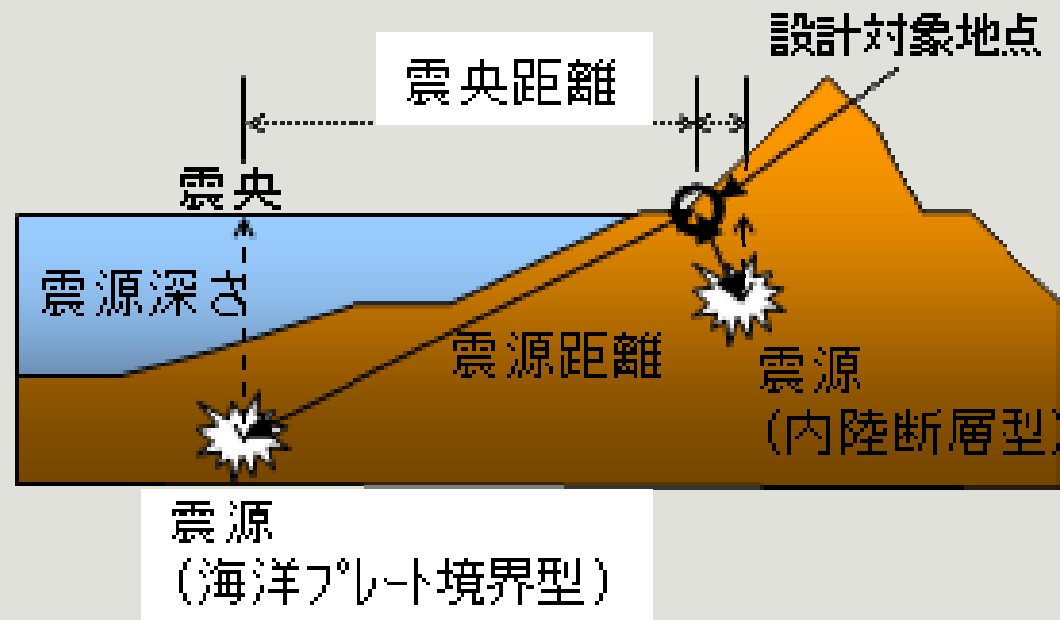
せん断耐力の寸法効果(大規模構造物になるほどせん断耐力は低下する)を含めコンクリートの負担せん断耐力を大きく算定していた。その結果、せん断補強筋が十分配置されていなかった。

4) 主鉄筋段落しの際の段落し鉄筋の定着長さが不十分であった。

耐震設計法の変遷



地震のタイプと発生場所の概念

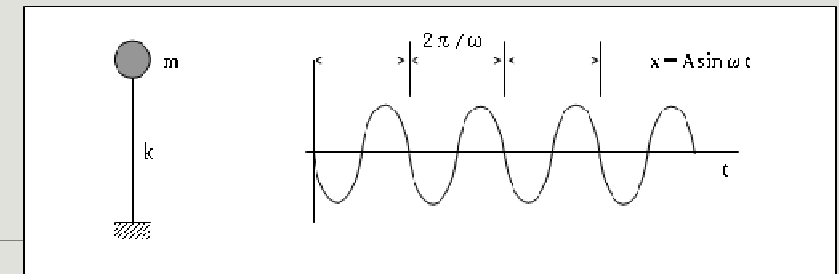


気象庁震度階と最大加速度

気象庁震度階		加速度(gal)
階級	説明	
0	無感	～0.8
I	微震	0.8～2.5
II	軽震	2.5～8.0
III	弱震	8.0～25
IV	中震	25～80
V	強震	80～250
VI	烈震	250～400
VII	激震	400～

1G=980cm/sec²=1000gal

1自由度系の固有周期



$$m \ddot{x} + kx = 0 \quad \text{-----} \quad (2.3.1-1)$$

$x = A \sin \omega t$ を上式に代入して、

$$A(-\omega^2 m + k) \sin \omega t = 0$$

$A \neq 0$ より、以下の式が導かれる。

$$-\omega^2 m + k = 0$$

$$\therefore \omega = \sqrt{k/m} \quad \text{-----} \quad (2.3.1-2)$$

今、この振動系の固有周期を T とすると角速度 ω は $\omega = 2\pi/T$ と表されるから、これを式 (2.3.1-2) に代入して以下が導ける。

$$2\pi/T = \sqrt{k/m} \quad \text{-----} \quad (2.3.1-3)$$

T について求めると

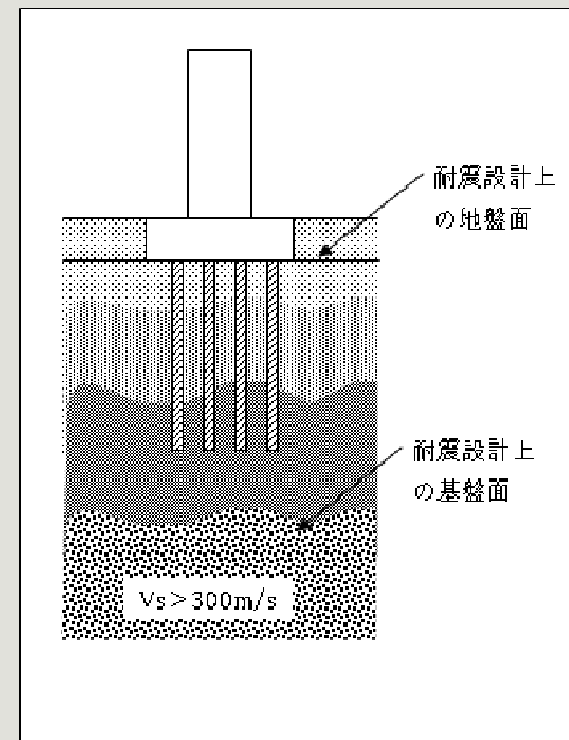
$$T = 2\pi \sqrt{m/k} \quad \text{-----} \quad (2.3.1-4)$$

従って、質量が大きくなるほど、そして剛性が小さくなるほど固有周期は大きくなる。

設計地震動

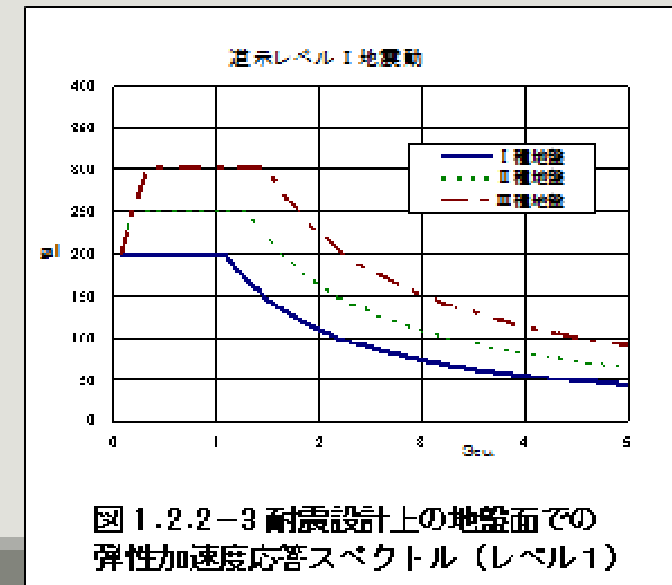
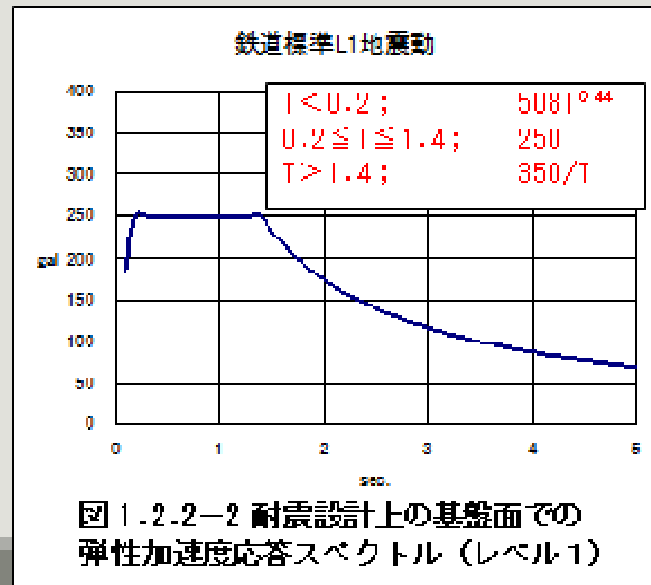
(1)耐震設計上の基盤面と地盤面

(2)レベル1地震動とレベル2地震動



レベル1地震動

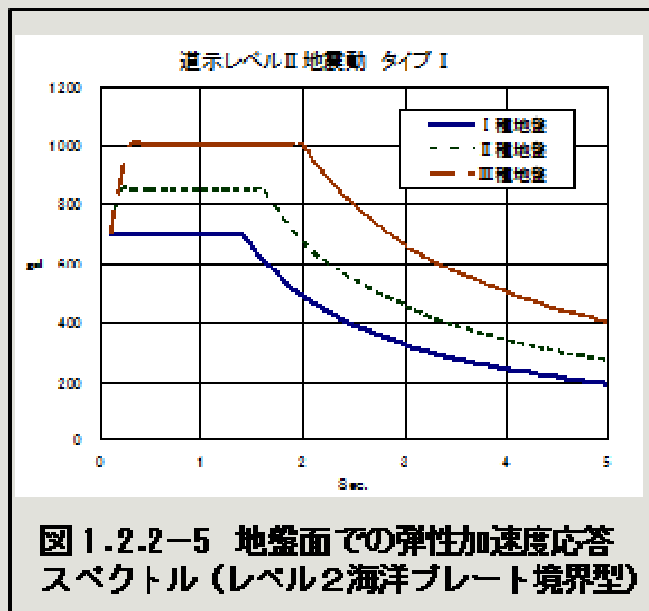
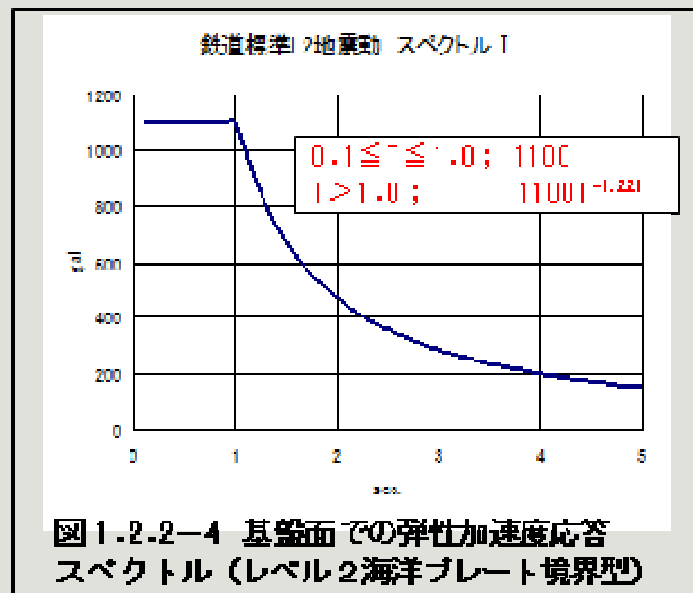
- (1) 構造物の供用期間内に数回程度発生する規模の地震動
- (2) 弾性設計を基本
- (3) 許容応力度設計での設計震度レベルに相当



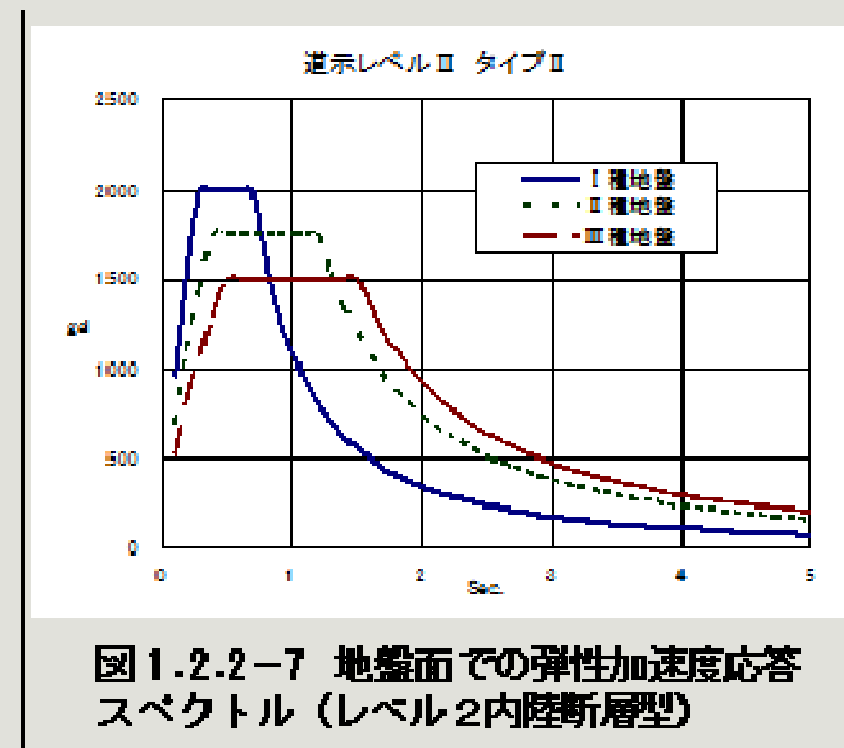
レベル2地震動(1)

(1) 構造物の供用期間中に発生する
確率の極めて小さい強い地震動

(2) 海洋プレート境界型と内陸断層型



レベル2地震動(2)



耐震設計の目的

(1) 地震時の人命損失を招くような被害を防ぐ

(2) 地域住民の生活や生産活動に支障をきたすような機能低下を抑制する

耐震性能

(1)耐震性能1:地震時に機能を確保し、地震後にも機能が健全で無補修のまま使用可能

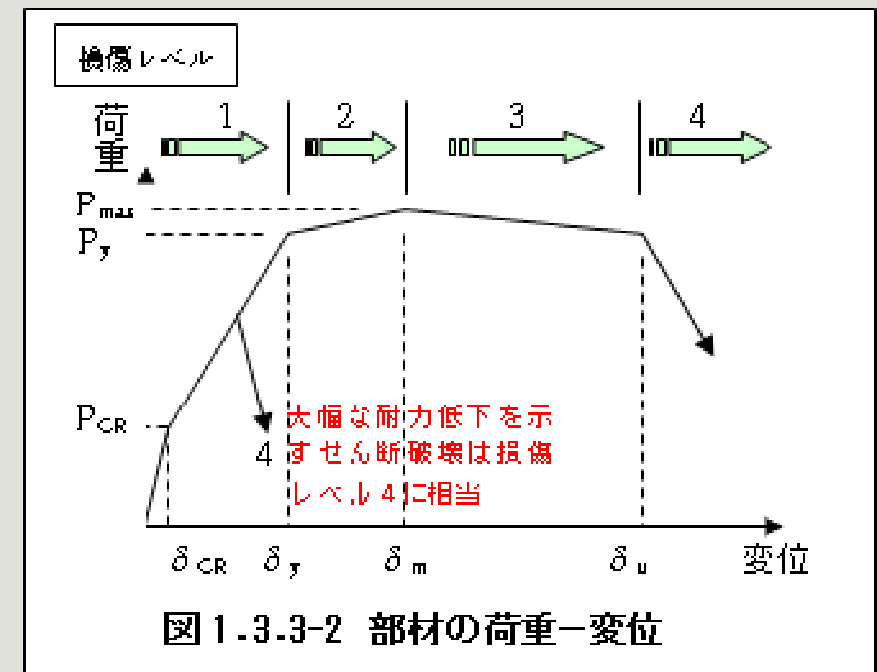
(2)耐震性能2:地震後に機能が短時間で回復

(3)耐震性能3:地震によって構造物が倒壊しない

耐震性能	機能性	修復性	安全性	
耐震性能1	地震前と同じ機能確保	機能回復のための修復不要	自動的に満足	
耐震性能2	早期に機能回復	応急修復で対応可能	自動的に満足	
耐震性能3	—	—	崩壊・落橋しない	

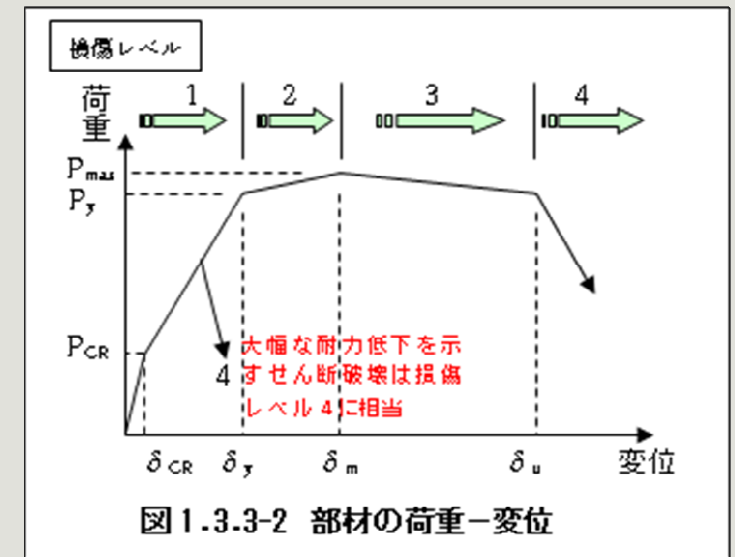
部材の損傷レベル

- ・損傷レベル1:発生応力度が許容応力度を超えない、または降伏前の変位に留まる
- ・損傷レベル2:部材降伏するが最大耐力以前、または修復容易な変位に留まる
- ・損傷レベル3:大幅な耐力低下を示す以前の変位に留まる
- ・損傷レベル4:大幅な耐力低下域にある変位。従って弾性範囲内でのせん断破壊など



耐震性能と損傷レベル

- ・耐震性能1: 全ての構成部材が損傷レベル1に留まる性能
- ・耐震性能2: 塑性化を許容する部材の損傷レベルが2、または3に留まる性能
- ・耐震性能3: 塑性化を許容する部材の損傷レベルが3に留まる、または一部の部材が4に達する性能



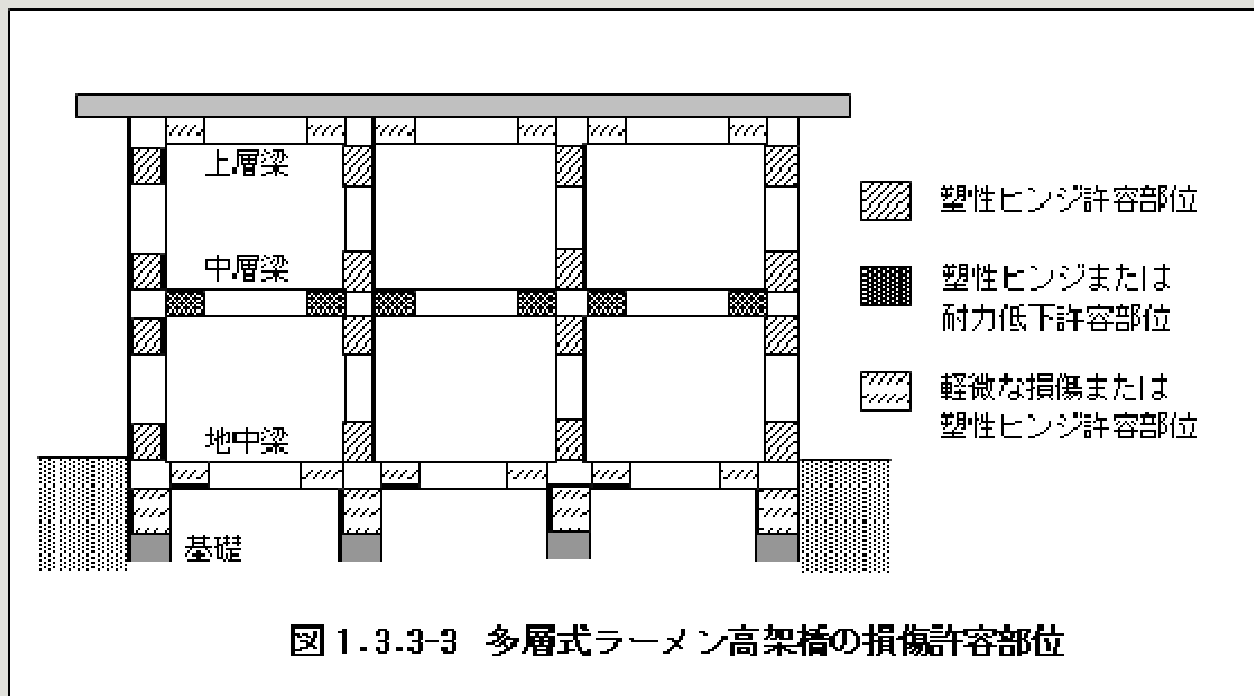
構造物の損傷許容部位

1) 構造物の損傷許容部位は特に修復性の観点から配慮

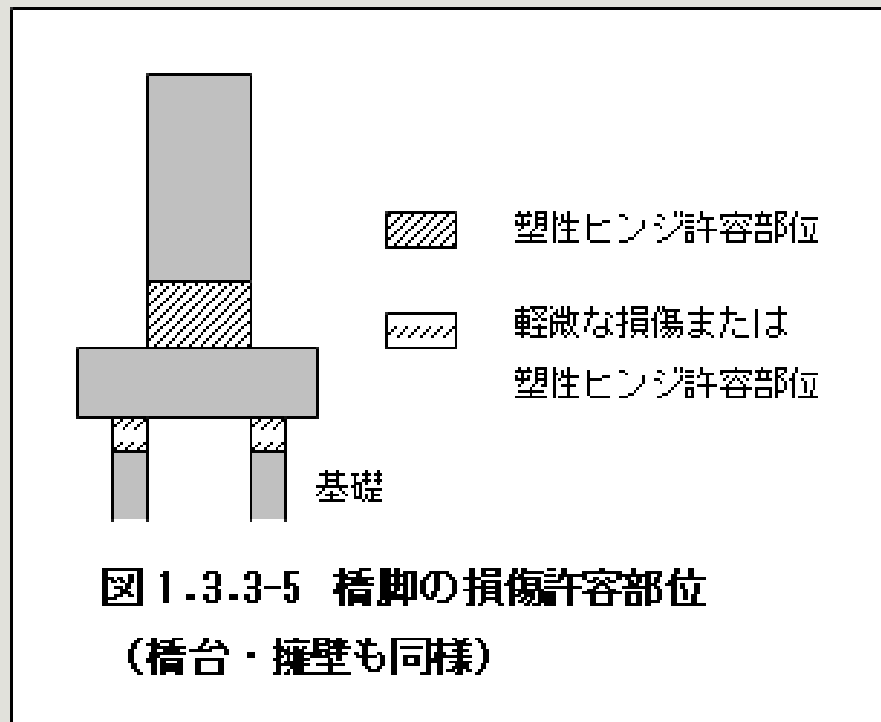
2) 修復性とは？

- ・補修工事の容易性
- ・修復にともなう機能への影響
- ・経済性への配慮

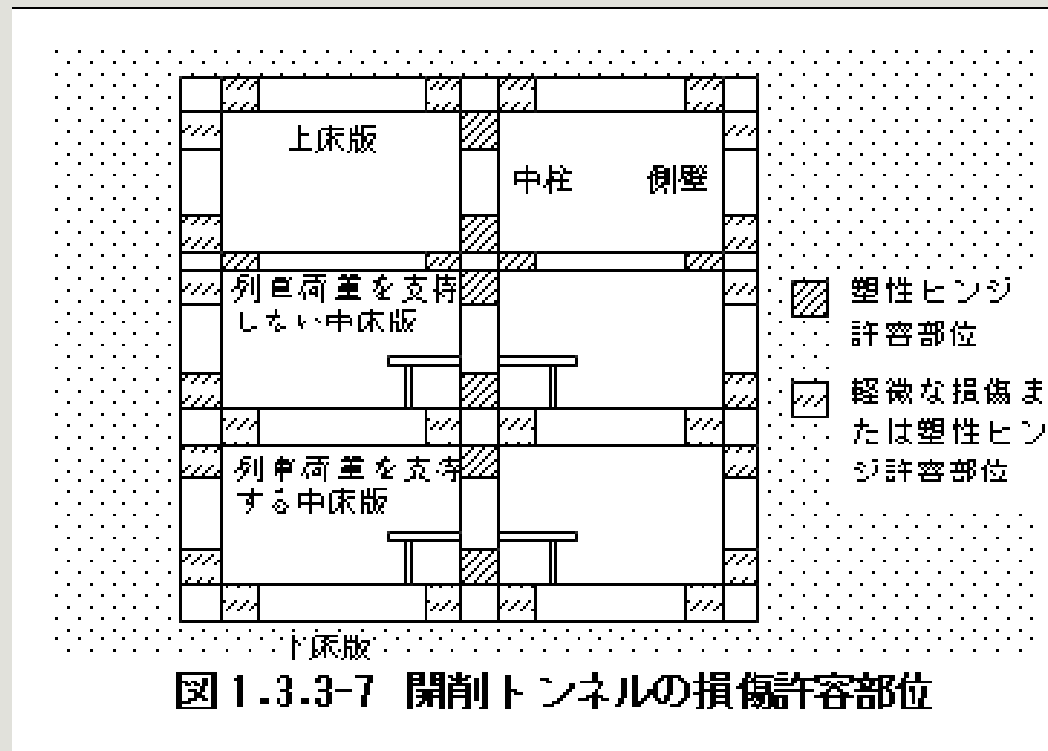
多層式ラーメン高架橋の損傷許容部位



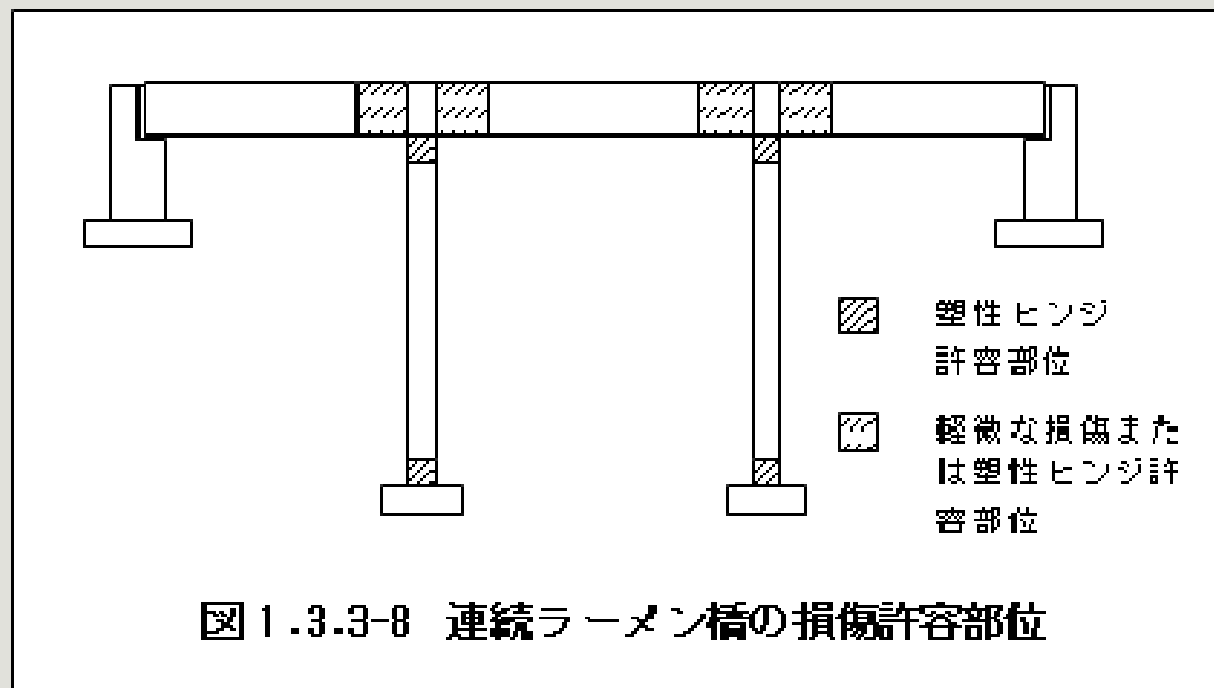
橋脚の損傷許容部位



開削トンネルの損傷許容部位



連続ラーメン橋の損傷許容部位



強度設計と靱性設計

■弾性エネルギー:

$$W_e = 1/2 \times P_e \times \delta_e = 1/2 \times P_e^2 / K_e$$

■塑性エネルギー:

$$\begin{aligned} W_p &= 1/2 \times P_y \times \delta_y + P_y \times (\mu - 1) \times \delta_y \\ &= [1/2 + (\mu - 1)] \times P_y^2 / K_e \end{aligned}$$



■ $W_p = W_e$ より、

$$\frac{P_y}{P_e} = \frac{1}{\sqrt{2\mu - 1}} \quad \text{例: } \mu = 5 \text{ の時、} P_y/P_e = 1/3$$

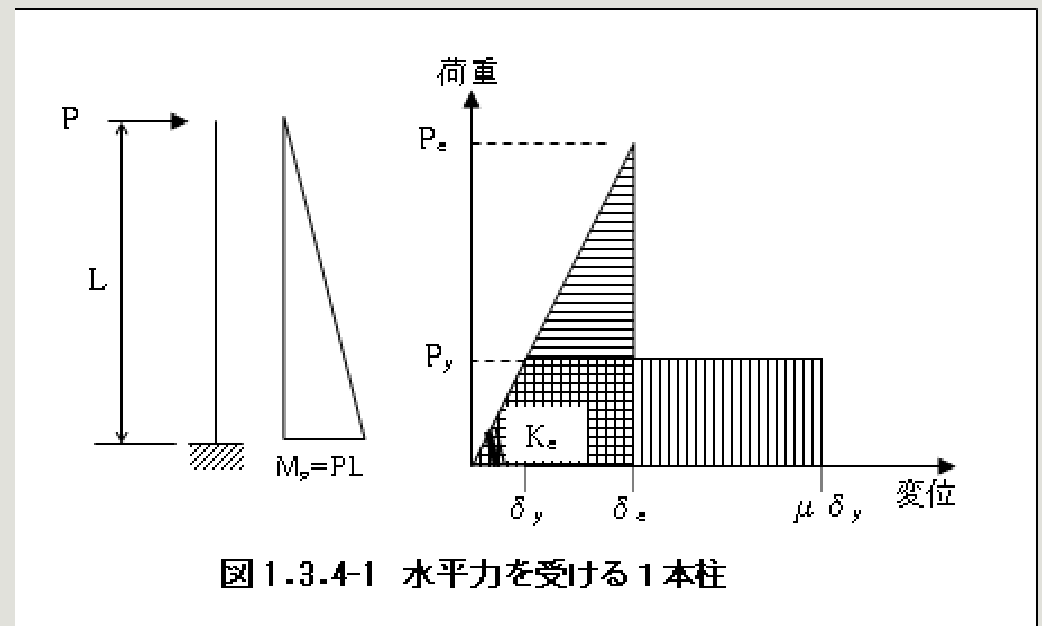


図 1.3.4-1 水平力を受ける 1 本柱

破壊モードと履歴特性

